

ENSEMBLES 最終シンポジウム参加報告*

仲江川 敏之^{*1}・松枝 未遠^{*2}・石崎 安洋^{*3}

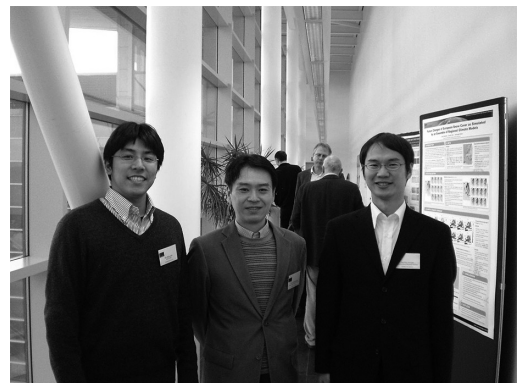
1. はじめに

2009年11月17日から19日まで英国エクセターの英国気象局で、ENSEMBLES 最終シンポジウムが開催され、日本からは仲江川敏之（気象研究所）、松枝未遠（海洋研究開発機構）、石崎安洋（気象研究所）の3名が参加した（第1図）。本シンポジウムは、2004年9月から2009年12月までの5年間でENSEMBLESプロジェクトにより得られた研究成果を参加者で確認、共有するだけでなく、記者発表により広く人々に還元することを目的に開催された。ENSEMBLESは、欧州連合（EU）の支援のもと、英国気象局を中心とする79の研究機関（EUの気象機関とその研究所、ECMWF、レディング大学等）が参加し、ヨーロッパ域の気候変動予測をターゲットに行われてきた。具体的な目標は、(1)ヨーロッパで開発された最新の全球・領域の地球システムモデルに基づくアンサンブル予測システムの開発、(2)高品質・高解像度の格子データの作成・およびそれに基づくアンサンブル予報システムの検証、(3)季節予報から数十年、数百年スケールの将来気候における不確実性の確率論的見積もり、(4)地球システムにおける物理学的・化学的・生物学的・人為起源フィードバックにおける不確実性の定量化と低減、(5)農業・健康・エネルギー・水資源・保険を含むさまざまなアプリケーションにアンサンブル予測システムの出力をリンクさせることによる結

果の最大限の利用、などである。参画機関や研究テーマからも分かるように、過去最大の包括的な気候変動研究プロジェクトであり、日本の関連プロジェクトに対応させてみれば、文部科学省21世紀気候変動予測革新プログラム（以下、革新プログラム）と環境省地球環境総合推進費（以下、推進費）の幾つかを束ねたようなプロジェクトと言える。各サブプロジェクトの内容とその相互関係については、高藪・大楽（2008）に概略が示されている。

ENSEMBLES 最終シンポジウムということもあり、初日は研究成果の記者発表に充てられ、オープニングセッションに続いて、政策関連結果のセッションが行われた。取材に来た報道機関は、BBC, the Daily Telegraph, the Times, Nature などである。

以降の節ではシンポジウムのセッション順で報告を行う。尚、シンポジウムの日程を第1表に示した。会議のプレゼンテーションファイルは、<http://ensem>



第1図 日本からのシンポジウム参加者（左から、松枝、仲江川、石崎）。

* A report on the ENSEMBLES Final Symposium.

*1 Toshiyuki NAKAEGAWA, 気象研究所気候研究部。

*2 Mio MATSUEDA, 海洋研究開発機構。

*3 Yasuhiro ISHIZAKI, 気象研究所環境・応用研究部。

第1表 シンポジウム・プログラム

11月17日 (火)	
午前	オープニングセッション セッション1：政策提言に結びつく結果
午後	セッション1：政策提言に結びつく結果
11月18日 (水)	
午前	セッション2：アンサンブル予測システム
午後	セッション3：気候モデルにおける不確実性の定量化と低減
11月19日 (木)	
午前	セッション4：気候変化による影響の予測
午後	セッション4：気候変化による影響の予測 セッション5：将来への道筋

タセットの整備

(仲江川敏之)

bles-eu.metoffice.com/meetings/GA6_Exeter_2009/FinalSymposium.html で、当日会場で配布された ENSEMBLES プロジェクトの最終報告書は、http://ensembles-eu.metoffice.com/docs/Ensembles_final_report_Nov09.pdf で見ることができる (いずれも、2010年8月18日確認)。

2. オープニングセッション

このセッションは、英国気象局局長、環境食糧農村大臣、欧州委員会研究総局ユニット長、エネルギー・気候変動省科学長からの祝辞から始まり、ENSEMBLES の責任者である P. van der Linden 氏 (英国気象局) による ENSEMBLES プロジェクトの成果概要紹介が行われた。主要な研究成果として、以下の項目が挙げられていた。

- 1) 今世紀のヨーロッパにおける気温と降水量変化に関する最初の確率的気候予測を提供するアンサンブル予測システムの確立
- 2) 農業、保健、エネルギー、水資源、保険の部門で、現在行われている意思決定に関連して、気候変化が与える影響評価
- 3) 気候システムにおける物理的、化学的、生物的、加えて人間活動に関係したフィードバックの明確な概念の提示と、気候予測における確実性を高めるために用いられる気象物理に基づいたモデルで、これらフィードバックを表現する方法の開発
- 4) アンサンブル予測を検証するために利用できるヨーロッパ地域における最初の高解像度の気候観測デー

3. セッション1：政策提言に結びつく結果

T. Palmer 氏 (ECMWF) は、地球システムモデルの不確実性を表現する方法として、マルチモデルアンサンブル (MME)、パラメータ摂動法、確率的物理過程強制法の3つを取り上げ、各手法の概要を紹介した後、ENSEMBLES での取り組みを報告した。ENSEMBLES では、降水量や地上気温の精度の良い確率論的季節予報を行うことを目的に、上記3つの手法の性能を相対的に調査してきたが、降水量に対しては確率的物理過程強制法が、地上気温に対しては MME が、相対的に精度良い予測となることが分かった。次に、高解像度モデルによる気候予測の重要性について触れていた。一般に、数値モデルは、ブロッキング現象の出現頻度を過小評価することが知られている (たとえば、Palmer *et al.* 2008 や Pelly and Hoskins 2003 など)。彼は、スーパーコンピュータ Cray XT4 Athena (2009年現在 TOP500の30位) による AMIP 実験において、ECMWF の TL1259モデル (水平格子間隔は約15km で、最先端の現業数値予報モデルの解像度に相当) が、TL159モデル (水平格子間隔は約120km で、高解像度気候モデルの解像度に相当) よりもブロッキング現象の出現頻度を良く再現することを示した。ECMWF のモデルのみならず、気象庁気象研究所の気候モデル (TL959, TL319, TL159, TL95で水平格子間隔はそれぞれ、20km, 60km, 120km, 180km) でも同様の結果 (Matsueda *et al.* 2009) が得られていることも併せて紹介し、高解像度モデルリングの重要性を強調していた。ちなみに、T. Palmer 氏の示した結果は、Cray XT4 Athena ならびに Cray XT5 Kraken (2009年11月現在 TOP500の3位) を使う The Athena Project (アテナプロジェクト) で得られた速報結果であり、今後 ECMWF のモデルだけでなく東京大学と海洋研究開発機構の開発した NICAM も参加し、さまざまな実験とその比較により高解像度モデルリングの重要性等を調べるそうである。T. Palmer 氏の発表を聞いて、「ENSEMBLES プロジェクトは成功裏に終わるが、IPCC AR4レポートに報告されているようにヨーロッパの気候システムの中で重要なレジームの1つであるブロッキングの再現についてはまだ不十分であり、ブロッキングを十分に再現できないモデルによる将来予

測は不確実性がまだまだ大きい」というメッセージを感じた(大気力学分野で著名な B. Hoskins 氏(レディング大学)も、気候モデルのプロッキングの再現性の悪さを嘆き、とある会議で「ヨーロッパの気候変動はまだ何もわかっていない」と言うほどである)。最後に、T. Palmer 氏の描く次のプロジェクト(講演の中で ENSEMBLES + UKCP09 = EUCP2015? としていた)では、水平20km 鉛直100層の地球システムモデル、MME、パラメータ摂動法、確率的物理過程強制法を利用した温暖化予測実験を行いたい、と紹介していた。

M. Beniston 氏(ジュネーブ大学)は、変わりゆく気候システムの中におけるヨーロッパでの顕著現象(熱波、熱帯低気圧、干魃、豪雨)について、ENSEMBLES で得られた結果を簡単に紹介した。これによると、熱波の発生日数は、地中海沿岸のヨーロッパ南部を中心に年間10日程度増え(最大で30日)、熱帯低気圧は発生数が減るものの強い熱帯低気圧が増加し、それに起因する豪雨の頻度が増え、温帯低気圧の発生数も同様に減少するものによる損失はスペイン、ポルトガルをのぞくヨーロッパ全域で増え、夏季の降水は、季節平均降水量は減るものの50 mm/day 以上の降水が増える領域が少なからずあるとのことである(詳細はスライド中に示された文献を参照)。

S. Kovats 氏(ロンドン大学衛生熱帯医学大学院)により、気候変化と健康について、特に、気温、降水の変化に伴う下痢による死亡者数の変化と気温と労働生産性の関係について発表があった。気候変動と公衆衛生やマラリアなどの伝染病との関係を論じた研究は聞いたことがあったが、気候変動と労働生産性の関係を論じた研究は初めてで、新鮮に感じた。彼女たちは、乾燥域では、下痢が生じる可能性が高くなり、労働衛生や労働生産性にも直接影響すると結論付けていた。ただし、気候変動に伴う下痢による死亡は従来推定されている人口増加に対し大きな影響を与えるほどではないとコメントしていた。最後に、地球規模での健康の影響を定量的に研究するには、低・中所得国のデータが足りないことを指摘していた。

M. Bindri 氏(フィレンツェ大学)は、気候変化が地中海地方の主要な農産物に与える影響評価に、確率予測法を適用した成果を報告した。デュラム小麦は、一部地域を除き、生産量減少の可能性は極めて高く、葡萄は地域により、生産量減少の可能性は大きく異な

り、生産量減少の可能性が高い地域は、イタリア中部と北部、イベリア半島西部、ギリシア北部などである。オリーブの耕作適地は北上し、南部で生産量減少の可能性が高い。これらの可能性は定量的に地理分布として表現されていた。収量モデルはメカニスティックモデルを用いることで、計算時間を短縮し、マルチモデルのアンサンブルサイズの小ささに起因する離散的な気温と降水変化予測を内挿することにより、連続的な予測にする工夫がなされていた。

(松枝未遠, 石崎安洋, 仲江川敏之)

4. セッション2: アンサンブル予測システム

F. Doblas-Reyes 氏(ECMWF)は、ENSEMBLES で構築したアンサンブル予測システムの概要を説明した。ENSEMBLES の第一目的は、品質管理されたヨーロッパ域の高解像度観測データ(E-OBS データ, <http://eca.knmi.nl/download/ensembles/ensembles.php>, 2010年8月18日閲覧)の作成により、ヨーロッパで開発された最先端で高解像度の全球および領域地球システムモデルを評価し、これらのモデルを用いることで、季節スケールから数十年スケールあるいはそれよりも長いスケールの将来気候における不確実性を確率的に見積もることである。ENSEMBLES プロジェクトの前半では、7つの全球地球システムモデルを用い、現在気候実験(1860-2000年)として全18メンバー、将来気候実験(2000-2100年)として全32メンバーのMMEシステムを構築し、後半では、現在気候実験として全29メンバー、将来気候実験として全39メンバーのMMEを構築した。領域地球システムモデルによる予測(対象は、1951-2050年または1951-2100年)では、7つの全球地球システムモデルを境界とする全25メンバーのアンサンブル実験を行った。ヨーロッパが団結したからこそこれだけの巨大な実験が行うことができたと言えるだろう。

J. Murphy 氏(英国気象局)は、講演の前半で、モデルの不確実性を考慮しうるMME(F. Doblas-Reyes 氏の紹介したもの)、パラメータ摂動法、確率的物理過程強制法の各アンサンブルシステムに対して行った、季節-年(14ヶ月)ハインドキャスト実験、数十年ハインドキャスト実験(対象期間は、プロジェクト前半では1991年から2001年、プロジェクト後半では1960年から2005年)の紹介をした。T. Palmer 氏の講演にもあったが、どの手法がよいという統一見解は

なく、注目する要素によって優位な手法が異なるというのが現状である。また、季節から数十年スケールの予測では、海洋の初期化も重要となるため ENSEMBLES で行われた海洋再解析の紹介をしていた。講演の後半では、ENSEMBLES が行ってきた21世紀の気候変化の確率論的予測について紹介した。

J. H. Christensen 氏（デンマーク気象局）により、地域気候モデルを用いたアンサンブルシステムについての発表があった。J. H. Christensen 氏は IPCC AR4 のワーキンググループ I の11章「地域的な気候の予測」の総括執筆責任者として、執筆に当たっている。気候モデルを用いて将来予測を行う際には、各々の気候モデルが採用する物理スキームや数値スキームの違いに起因する不確実性が存在するため、彼らの研究グループ RT3では、不確実性を評価するため15個の RCM を用いて将来予測を行っている。また、側面の境界条件に用いる GCM についても7個用いていた。ただし、どの GCM の境界条件によりどの RCM を用いたのかという GCM-RCM マトリックスによれば、必ずしもすべての GCM を境界条件にして RCM を計算しているわけではなく、空白も目立っていた。この空白を埋める統計的な手法であるインフレーションという手法の結果については、発表中には説明されていなかったが、ENSEMBLES プロジェクトの最終報告書に詳しく説明されている。また、これらの MME による結果から、気温のトレンドや気温と降水の季節変化などの6つの指標を用いて、各モデルに対し将来予測の際に使用する重みが作成されていた。日本の地域的な気候予測の研究を行っている推進費「温暖化影響評価のための MME とダウンスケーリングの研究」(S-5-3: 代表 高藪 出)においても、GCM-RCM マトリックスの空白を埋める統計的な技術や MME の重み付けについては検討されていたが、ENSEMBLES では、既にその結果が出されており、ヨーロッパの先進性を感じた。また、休憩時間に J. H. Christensen 氏に「どのような指標によりモデルを評価すべきか」という質問をする機会を得たが、それについては、J. H. Christensen 氏もはっきりとした答えは出せていないようだった。

M. Deque 氏（フランス気象局）により、J. H. Christensen 氏らのグループにより提供された地域気候モデルの結果をダウンスケーリングする研究について、発表がなされた。M. Deque 氏らは、J. H. Christensen 氏らが提供する14個の RCM（側面境界条件の

GCM は5個）の結果を用いて、ヨーロッパ各国の首都（発表はロンドンの結果のみ）における日平均の2m気温と降水の確率密度関数を示していた。

T. Carter 氏（フィンランド環境研究所）は、気候影響応用モデルを用いる際に、確率的に予測された情報をいかに用いるかについて報告した。この報告は、14名の共同研究者からなる成果のまとめで、その内容は108枚ものスライドに達している（シンポジウムのウェブページ参照）。当然ながら、発表ではその一部のみが利用されており、帰納的に得られた結論は次のようにまとめられていた。まず、既存のシナリオベース影響評価では、気候予測の不確実性を任意に取り扱ってきたことを指摘し、それに対して、ENSEMBLES では、確率的気候予測が影響評価研究の新たな契機をもたらしたとしている。具体的には、アンサンブル影響評価や応答曲面法（Jones 2000）を用いてリスクによる将来の影響を表現することにより気候に含まれる不確実性が影響評価にどのように伝播するかをより総合的に描像した。加えて、時間発展と共に、影響リスクがどのように変化していくかを、政策立案者に示す効果的な意思疎通の手法を開発したことなどを報告していた。しかし、まだ、排出量シナリオや影響評価の不確実性、極端気候現象、多段階の複雑な影響評価等、多くの研究課題が積み残しであり、T. Palmer 氏が発表中に示唆したように、ENSEMBLES のようなプロジェクトを継続的に行ってゆくことが必要であるとも主張していた。各研究者の個別成果としては、予測分野では、ENSEMBLES のマルチモデルシステムによるヨーロッパの気候変化予測、それを元にした、気温と降水の同時確率分布の開発などがあった。一方、影響評価分野では、スウェーデンのヴェーネレン湖の越流のリスク評価や、セッション1の M. Bindi 氏の発表内容などが、顕著な成果の例として挙げられていた。

（松枝未遠、石崎安洋、仲江川敏之）

5. セッション3：気候モデルにおける不確実性の定量化と低減

J.-L. Dufresne 氏（フランス国立科学研究センター）により、気候モデルにおける不確実性の定量化と削減についての概観が発表された。まず、気温を予測する際の不確実性の起源を気候の内部変動、モデルの構造、排出シナリオの3つに分けて、その割合を全球平均と地域規模の平均（発表では、イギリス諸島）

について示していた。興味深かったのは、全球平均と地域規模平均でその3つの不確実性の割合の時間的な変化の仕方が異なることである。例えば、全球平均においては、はじめの数十年では、気候モデルの構造に起因する不確実性の割合が最も大きいが、2040年頃からシナリオに起因する不確実性の割合が急激に大きくなり、最終的には不確実性のうち8割ほどが排出シナリオに起因する結果となっている。他方、地域規模平均では、はじめの10年では気候の内部変動に起因する不確実性が5割以上を占めているが、徐々に気候モデルの構造に起因する不確実性が大きくなり、2070年頃までには、3つの不確実性の中で最大の要因になっている。最終的には、全球平均と同様に排出シナリオに起因する不確実性の割合が最も大きくなっているものの、地域規模の平均については気候モデルに起因する不確実性の割合も全球平均の場合と比べ大きい。このような各種不確実性の定量的解析は、日本領域についても同様の図が作成されると面白いのではないかと感じた。また、今回の発表では降水や極値に関しては言及されていなかった。気温と比べると降水や極値では、気候の内部変動に起因する割合が増えそうに思えるが、降水や極値についてもこのような解析は興味深いのではないかと感じた。

B. Dong 氏 (レディング大学) は、地球規模での温室効果ガスへの応答 (海陸温暖化コントラスト, 全球水循環), 熱帯気候変動とその温室効果ガスへの応答 (ENSO, インド・アフリカ夏季モンスーン, モンスーンの季節内変動, ENSO とモンスーン, モデル解像度の役割), 温帯気候変動とその温室効果ガスへの応答 (大西洋領域でのストームトラックと天候レジーム) について、ENSEMBLES から得られた結果を紹介した。すでに出版されている論文を駆け足で簡単に紹介したため、内容は盛りだくさんだが深いところまで聞くことはできなかった。

A. M. G. Klein Tank 氏 (オランダ王立気象研究所) によりヨーロッパにおける日単位のデータセット E-OBS についての発表がなされていた。空間解像度はおおよそ25kmで、地域気候モデルのグリッドに合わせてある。変数は、気温と降水量で、気温については、日最高気温と日最低気温についても作成している。期間は1950年から現在までである。基本的には、ENSEMBLES プロジェクトの地域気候モデルの検証やその応用研究に利用するために作成されている。同様のデータセットがメキシコや南アメリカで作成され

ている。このようなデータは、日本域では、降水に関しては APHRO_JP (Kamiguchi *et al.* 2010) が作成されているが、他の変数に関しても作成された場合、地域気候モデルの結果の検証などに非常に役立つであろうと感じた。

(石崎安洋, 松枝未遠)

6. セッション4：気候変化による影響の予測

C. M. Goodess 氏 (イーストアングリア大学) により、ENSEMBLES のデータを影響評価の研究者に提供するためのシステムについての発表がなされた。気候モデルから直接求められたデータに加えて、統計的ダウンスケーリングの研究者により求められた確率密度関数など様々な形式に翻訳されたデータが web 上で公開され、入手可能である (<http://www.cru.uea.ac.uk/projects/ensembles/ScenariosPortal/> 8月18日閲覧)。このようデータを提供するシステムは、作成するには、相当の労力が必要とされるだろうが、影響評価の研究者には非常に便利であろうと感じた。ENSEMBLES のプロジェクトが終わった後も、このシステムは発展させていくようであり、今後提供するシステムを充実させることで、利用者も増えそうであると感じた。

G. Leckebusch 氏 (ベルリン自由大学) は、ENSEMBLES の結果の利用法の一つとして、暴風について、保険分野に何を提供できるかについて報告した。中央ヨーロッパでは、冬季の暴風が、最大の損失を伴う自然災害であるが、MME 平均で見ると、今世紀末には、中緯度低気圧は減少するが、日最大風速は、西部中央ヨーロッパで増加することが示された。保険分野の専門家との対話から、保険分野でどんな情報が求められているのか整理し、その例として、ある閾値以上の強風に対する、積算保険金額、暴風、熱波、早魃などのイベントが気候変化でどのように変わるかについての情報、補償のリスク分散を行うための適切な金融再保険商品の開発に利用できる情報を挙げた。このうち、積算保険金額については、暴風災害モデルから、ドイツで25%、イギリスで20%の保険金額が増加するという予測を示した。

P. Graham 氏 (スウェーデン気象水文研究所) により ENSEMBLES プロジェクトの予測結果を水文学や水資源研究に適応する研究についての発表がなされた。スウェーデンの代表的な湖の21世紀の流入量の変化が詳細に議論されていた。また、ヨーロッパの代

表的な河川の脆弱性についても議論が行われていた。また、南アフリカの河川にも同様の解析がなされており、その結果について議論していた。

A. Morse 氏 (リバプール大学) によって、ENSEMBLES プロジェクトの結果を用いたヨーロッパとアフリカの疾病リスクに関する発表が行われた。将来のマラリアの変化よりも現在気候でどの程度マラリアを再現できるのかに焦点を当てて発表していた。

(石崎安洋, 仲江川敏之)

7. ポスター発表

松枝は、2日目に「大西洋-ヨーロッパブロッキングの将来変化」と題するポスター発表を行った。ヨーロッパの気候システムの中で重要なレジームの1つである大西洋-ヨーロッパブロッキングの将来変化を、現在気候実験でブロッキング現象の再現性の良い全球20km 大気モデル (TL959L60) で調べたもので、夏季および冬季の結果について示した (夏季の結果は、T. Palmer 氏と松枝の共同研究の一部である)。一般に、数値モデルは、ブロッキング現象を過小評価する傾向にあるため、このことが、信頼度の高い将来変化の情報を得ることを困難にしている。ブロッキング現象の発生の有無によって、たとえば、低気圧の経路が大きく変わるため、降水分布もそれと連動して大きく変わりうる (極端な話、降らないところで雨が降り、降るところで雨が降らない)。重要な気候レジームの出現頻度を正確に捉えられていないモデルは、“偽の世界”を作り出していることになり、当然そのモデルによる将来変化は信頼できないものと考えられる。発表では、夏季、冬季とも高解像度であればあるほど大西洋-ヨーロッパブロッキングの再現性が良くなることを示した。20km モデルの性能の高さはもちろん、ブロッキング現象の解像度依存性は多くの人にとって大変興味深い結果であったようで「もっと高解像度でやらないのか？」と何度も聞かれた。また、これだけの高解像度モデルによる温暖化予測実験を可能にする地球シミュレータをうらやましがらる声も聞こえた。

(松枝未遠)

H. Du 氏 (ロンドンスクールオブエコノミクス) のグループは、MME による確率的季節予報のスキルについて調べ、ENSEMBLES プロジェクトの MME による、リードタイム14ヶ月における Nino3.4海面水温の確率予報は、DEMETER プロジェクトの

MME によるものよりも有意に高いスキルがあることを示した。また、単体ではスキルの無いモデルを MME に含めると、MME のスキルが向上する場合があることを示し、MME を現業的に構成する際に、全てのモデルを用いるべきであるという一般的な方法に疑問を投げかけていた。

高藪氏 (気象研究所) と S-5-3 チームの連名で、仲江川が、S-5-3 の進捗状況について、ポスター発表を行った。EU ENSEMBLES 第4回全体会合での高藪氏によるプロジェクト紹介 (高藪・大楽 2008) を行った時から、実際にプロジェクトが進んで、どのような結果が出ているかについて発表し、参加者と議論を交わした。多くの人が、国内研究グループだけで、RCM の MME を構成できることや、影響評価に関連した研究まで1つの小規模プロジェクトに含まれていることに、驚きを示していた。羨望の眼差しと共に、欲張りすぎではないかという懐疑的な意見が、驚きには含まれていると思われる。その一方で、マルチ GCM-マルチ RCM (高藪, 大楽 (2008) の第1表を参照) で実験を行っている ENSEMBLES からの知見を利用する必要があると指摘を受けていた。

(仲江川敏之)

石崎, 仲江川, 高藪氏の連名で、石崎が「3つのベイズのアプローチによる21世紀後半の日本の地表気温上昇量の比較」(Ishizaki *et al.* 2010) という題で発表を行った。この研究は、既に提案されているベイズ統計学に基づく観測により重み付ける手法を21世紀後半の日本の地表気温上昇量に適用したものである。このポスター発表では、ENSEMBLES のプロジェクトで地域気候モデルを用いたサブプロジェクト (RT3) のリーダーの J. H. Christensen 氏に意見を頂けたのは非常にありがたかった。会議の初日、T. Palmer 氏 (ECMWF) の発表で松枝氏の研究が大々的に紹介されていたため、何度か松枝氏に間違えられ声を掛けられた。そのとき自分の研究を宣伝しておいたため、その中の何人かには来ていただき意見を頂くことができた。ガーナの影響評価の研究者からは、「これを使って、予測結果を提供する側に都合の良い恣意的な結果を作成することもできるのではないか？」と質問された。確かに、重みを作成する際の指標をうまく選べば、そのような予測をすることも可能かもしれない。会議では、そうならないよう信頼性のある指標をしっかりと考える必要があると答えておい

た。

(石崎安洋)

8. まとめと所感

S-5-3は、ENSEMBLESの地域を日本に設定した、ダウンスケーリングと地域気候シナリオの作成を研究テーマとしたグループに準えられる。この機会に、S-5-3の活動を発表できたことと、ENSEMBLESの最終成果を、やや消化不良ながらも3日間で知ることができたことは大変有意義なことであった。

また、米国の力学的ダウンスケールプロジェクトNARCCAPの事務局長L. Mearns氏(米国国立大気研究センター)も参加しており、各国の力学的ダウンスケールプロジェクトグループがENSEMBLESの最終成果に大きな関心を寄せていることが伺えた。

ENSEMBLESは、その言葉の語源が示す通り、一緒に行う、ことを目標としている。こうした場を提供したENSEMBLESによって、予測から影響評価、緩和策までの研究者の相互理解が格段に進んでいることは、この最終シンポジウムでの百花繚乱の成果が示している。筆者の参加する推進費、革新プログラムでも、3年を終えた現時点で、相互理解は飛躍的に進んだと感じていたところであり、規模は比較にならないが、プロジェクト終了時点での、一つの理想的な将来像を目の当たりにした思いであった。

一方、ポスター発表時に話した、あるENSEMBLES参加者は、ENSEMBLESは大きすぎて、全体を俯瞰することが難しく、これだけの規模のプロジェクトを今後更に続けることには懐疑的であった。恐らく、以前に参加した小規模プロジェクトの方が、居心地が良かったのであろう。これまでに、筆者自身が参加したプロジェクトでは、学際的ということばで括れるような、相互理解の進展があったように思える規模のプロジェクトばかりで、大きすぎると感じたことは無かった。確かに、将来予測やそのダウンスケーリングから、農業、公衆衛生までの概略を把握するだけでも、十分な意欲と時間が必要であろう。自戒を込めて、是非そうありたいものである。

(仲江川敏之)

多くの研究機関が一丸となって、7つの大気海洋結合モデルと15の地域気候モデルによるMME(もちろんすべての組み合わせを行ったわけではない)により、季節予報から温暖化予測までを行ってきた

ENSEMBLESプロジェクトの巨大さと先進性を改めて痛感した。これだけ完成度の高いプロジェクトを行うことができるのは、さすがはヨーロッパである(ENSEMBLESの後継プロジェクトは今のところ、無いようで、これは非常に残念である)。アンサンブル手法に基づく気候変動予測に関しては、日本はヨーロッパに比べ少なくとも数年以上遅れていると感じた。日本でもようやく、推進費や革新プログラムで気候変動予測にアンサンブル手法が導入されるようになった。推進費では、水平格子間隔20kmの複数の領域気候モデルを用いて日本域におけるMMEが行われようとしているが、単に領域をヨーロッパ域から日本域に変えてENSEMBLESと同じことをしたのは何の新鮮さもない。ヨーロッパに追いつくどころか、ヨーロッパのあとを完全に5年遅れで追いかけるだけである。また、松枝の所属する革新プログラム極端現象予測チームでは、地球シミュレータを用い、超高解像度大気モデル(TL959L60、水平格子間隔約20km)による全球地球温暖化予測、および、これを境界条件とした高解像度領域気候モデル(水平格子間隔2km)による日本域の詳細な温暖化予測を行っているがこれも例外ではない。全球地球温暖化予測の不確実性を見積もりにはTL959モデルではなく、TL319モデル(水平格子間隔60km)を使用して初期値・海面水温アンサンブル実験を行っているため、TL959モデルによる温暖化予測という強みは半減している感がある。TL959モデルによるアンサンブル実験は確かに容易ではないかもしれないが、ECMWFが現業数値予報で使用しているTL1259モデルを使ったThe Athena Projectが開始されたことを考えると、高度なアンサンブル予測技術をもつヨーロッパに追いつかれ、追い越される日はすぐそこまで来ているように思う(The Athena Projectでは、TL1259モデルを用いた将来気候(2071-2118年)のタイムスライス実験を行うが、そのアンサンブル実験を行う予定は今のところ無いそうである)。この十年で、温暖化時の気候についてはよく分かってきた。だからこそ、ただ単に「将来こうなるようだ」と言うのではなく、先を見据え、社会的にも科学的にも意味のあることをやっていく必要があると再認識した。

(松枝未遠)

ENSEMBLESやその地域的な将来予測研究プロジェクトの前身であるPRUDENCEで行われている

研究については、現在、所属しているプロジェクトの研究を進める上で非常に参考になるため、これらのプロジェクトの論文で既に国際誌に掲載されているものはできる限り調べていた。しかし、今回最終シンポジウムに参加させていただくことで、改めてヨーロッパ諸国の温暖化研究における先進性を痛感した。自身の参加している推進費 S-5 プロジェクトにおける研究が地域気候モデルを用いた将来予測であるため、特にその分野に注意して会議に出席していたが、今後やりたいと考えていた GCM-RCM マトリックスの空白を埋める統計的な手法が既に開発され、さらに結果まで示されているのは驚きであった。ENSEMBLES は、参加している研究機関も多く、研究者の質も高い上、著者らが参加している S-5-3 よりも約 3 年早く始まっているため、彼らの研究より優れたものを行うには、彼らの研究の延長上のものを狙うだけでは難しいと感じた。そもそも、彼らのように、多数の GCM を境界条件に多数の RCM を使って将来予測をすること自体が(たとえ、全部の組み合わせを計算していないにしても)、日本一国のプロジェクトでは、計算機資源にしても人的資源にしても大変である。とはいえ、地域的な将来予測において、GCM や排出シナリオに起因する不確実性は大きく、その定量的な情報は重要であるため、何らかの方法で、影響評価研究の研究者に提供することは必要である。

そこで、彼らの研究より優れたものとは言いえないが、著者らが最近検討しているのは、力学的ダウンスケーリングと比べ計算機資源を必要としない統計的ダウンスケーリングの有効活用である。例えば、地上気温に関しては、統計的ダウンスケーリングと力学的ダウンスケーリングの将来予測の結果は、季節平均くらいの時間スケールでは、それほど大きな違いはないかもしれない。統計的ダウンスケーリングの結果を力学的ダウンスケーリングの結果を用いて検証することで、統計的ダウンスケーリングの(少なくとも力学的ダウンスケーリングとそれほど結果が違わないという意味で)有効な時間スケールを特定し、その時間スケールに関しては、積極的に統計的ダウンスケーリングを用いることができるはずである。そのような時間スケールでは、GCM や排出シナリオに起因する不確実性を細かい空間スケールで提供することが可能だろう。また、このような方法は、ヨーロッパよりも人的資源も計算機資源もはるかに乏しい途上国の温暖化対策にも実行可能であろうから、個人的には非常にやり

がいのある研究である。

会議の夕食のパーティは、左隣は松枝氏、右隣は松枝氏の知人の A. Weisheimer 氏 (ECMWF) であった。英語が得意でないのに加え、自分の研究の基本的な単語である「事前確率」さえもすぐには出てこないほど、時差ボケで頭が働かなかったが、お互い興味があることを話すことができた。その中で、「途上国の温暖化対策に興味がある」と話したところ「スターン・レビュー (Stern 2007) は読んだ?」と聞かれ、「名前だけなら知っています」としか答えられなかった。今後は、プロジェクトにおける自身の研究をしっかりと発展させるのに加え、幅広い範囲で温暖化研究に関する知識を得なければならないと痛感した。

(石崎安洋)

略語一覧

- AMIP : Atmospheric Model Inter-comparison Project
大気大循環モデル相互比較実験
- BBC : British Broadcasting Corporation 英国放送協会
- DEMETER : Development of a European Multimodel Ensemble system for seasonal to interannual prediction 季節から季節内予報のための欧州マルチモデルアンサンブルシステムの開発
- ECMWF : European Centre for Medium-Range Weather Forecasts 欧州中期予報センター
- ENSO : El Nino Southern Oscillation エルニーニョ・南方振動
- E-OBS : ヨーロッパ気候評価とデータセットに基づいて作成された、ヨーロッパにおける気温と降水量の観測日グリッドデータセット
- EU : European Union ヨーロッパ連合
- GCM : General Circulation Model 全球モデル
- IPCC AR4 : Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report 気候変動に関する政府間パネル第 4 次評価報告書
- MME : Multi-Model Ensemble マルチモデルアンサンブル
- NARCCAP : The North American Regional Climate Change Assessment Program 北アメリカ領域気候変化評価プログラム
- NICAM : Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model 全球非静力正二十面体モデル
- NINO3.4 : エルニーニョ現象, ラニーニャ現象を監視する海域 (北緯 5 度~南緯 5 度, 西経 170 度~120 度) のひと

つ

PRUDENCE : Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects ヨーロッパの気候変化リスクと影響の明確化のための領域気候シナリオと不確実性の予測

RCM : Regional Climate Model 領域気候モデル

RT : Research Theme (ENSEMBLES の研究テーマ)

UKCP09 : United Kingdom Climate Projections (英国における気候変動予測プロジェクト)

参 考 文 献

Ishizaki, Y., T. Nakaegawa and I. Takayabu, 2010 : Comparison of three Bayesian approaches to project surface air temperature changes over Japan due to global warming. SOLA, 6, 21-24.

Jones, R. N., 2000 : Managing uncertainty in climate change projections—Issues for impact assessment. Clim. Change, 45, 403-419.

Kamiguchi, K., O. Arakawa, A. Kitoh, A. Yatagai, A. Hamada and N. Yasutomi, 2010 : Development of APHRO_JP, the first Japanese high-resolution daily

precipitation product for more than 100years. Hydrol. Res. Lett., 4, 60-64.

Matsueda, M., R. Mizuta and S. Kusunoki, 2009 : Future change in wintertime atmospheric blocking simulated using a 20-km-mesh atmospheric global circulation model. J. Geophys. Res., 114, D12114, doi : 10.1029/2009JD011919.

Palmer, T. N., F. J. Doblas-Reyes, A. Weisheimer and M. J. Rodwell, 2008 : Toward seamless prediction : Calibration of climate change projections using seasonal forecasts. Bull. Amer. Meteor. Soc., 89, 459-470.

Pelly, J. L. and B. J. Hoskins, 2003 : How well does the ECMWF ensemble prediction system predict blocking? Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 129, 1683-1702.

Stern, N., 2007 : The Economics of Climate Change : The Stern Review. Cambridge, UK, Cambridge University Press, online at http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.cfm.

高藪 出, 大塚浩司, 2008 : EU ENSEMBLES 第 4 回全体会合参加報告. 天気, 55, 907-910.